

2. Обзор современных конструкций турбодетандерных генераторов ООО НТЦ «МТТ» МДГ-20 Санкт-Петербург

3. Агабабов В.С., Корягин А.В. Определение энергетической эффективности использования детандер - генераторного агрегата в системах газоснабжения // Теплоэнергетика. 2002. № 12..

4. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2003. № 6.

УДК 519.6

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

### THE MODELING OF DRYING HEAT INSULATION OF HEAT NETWORKS

Щербинин К. А., Дмитрачкова А. В., Гредякин Д. Ю.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, scherbinin.ka@gmail.com

Sherbinin K. A., Dmitrachkova A. V., Gredyakin D. U.

Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе исследовано распределение температур по толщине изоляции. Рассчитаны координаты просохшей изоляции и тепловой поток в зависимости от времени сушки и теплофизических параметров. Исследовано время сушки тепловой изоляции после осушения канала.

**Abstract:** The work deals with investigation of the temperature distribution over the thickness of the insulation. Calculated coordinates dry insulation and heat flow as a function of drying time and thermal parameters. We have investigated the drying of thermal insulation after drying channel.

**Ключевые слова:** центральное теплоснабжение; изоляция; осушение; тепловые потери; затопление.

**Key words:** central heating; insulation; drying; thermal loss; flooding.

В России основным типом прокладки сетей коммунального теплоснабжения является подземная канальная, на долю которой приходится около 90 % от общей протяженности тепловых сетей, а самым распространенным теплоизоляционным материалом для канальной прокладки является минеральная вата.

При передаче тепла потребителю тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения всегда существуют энергетические потери, и, следовательно, наблюдается снижение экономичности центрального теплоснабжения потребителей. Одним из существенных факторов, влияющих на снижение эффективности теплоснабжения, является затопление тепловых сетей канальной прокладки грунтовыми водами, за счет сезонных осадков, а также аварийных ситуаций на тепловых сетях. При намокании теплоизоляционного слоя происходит существенное увеличение тепловых потерь [1]. Наиболее важным фактором при эксплуатации сетей является своевременная локализация затопленных участков и их осушение [2].

Для проведения анализа процесса сушки теплоизоляционного слоя на трубопроводах было выполнено моделирование изменения глубины просохшего материала, обусловленного движением границы фронта испарения влаги, от времени. В данной работе решается квазистационарная задача теплопроводности для слоя изоляции. В задаче рассматривалось, что в первоначальный момент времени, после осушения канала, тепловая изоляция находится в состоянии полного намокания, а окончание процесса сушки наступает при достижении фронта испарения наружной поверхности изоляции.

Для рассмотрения процесса сушки необходимо знать распределение температур по толщине просохшего слоя изоляции, поэтому используем уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dt}{dr} \right) = 0, \quad (1)$$

При задании температур на стенке трубы и на поверхности изоляции, краевые условия будут иметь следующий вид:

$$r = r_0, t = t_{cm}; r = R, t = t_0, \quad (2)$$

Сечение трубопровода представлено на рис. 1.

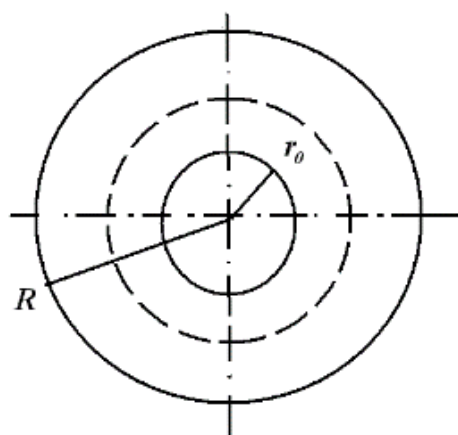


Рис. 1. Сечение трубопровода

Уравнение движения границы высохшей изоляции запишем с условием, что вся подводимая теплопроводностью теплота затрачивается на испарение влаги. Уравнение примет следующий вид:

$$\rho W \sigma \frac{d\xi}{d\tau} = -\lambda \frac{dt}{dr_{r=\xi}}, \quad (3)$$

В результате решения дифференциального уравнения (1) получили выражение для распределения температур по толщине изоляции:

$$t = t_{ct} - (t_{ct} - t_0) \cdot \frac{\ln r - \ln r_0}{\ln R - \ln R}, \quad (4)$$

Производная на границе движения фронта испарения:

$$\frac{dt}{dr_{r=\xi}} = \frac{t_{cm} - t_0}{\ln R - \ln r_0} \cdot \frac{1}{\xi}, \quad (5)$$

Подставляя полученное выражение в (3) получаем балансовое уравнение:

$$-\lambda \frac{t_{cm} - t_0}{\ln R - \ln r_0} \cdot \frac{1}{\xi} = \rho W \sigma \frac{d\xi}{d\tau}, \quad (6)$$

Решая уравнение (6), получим выражение для расчета координаты высохшей изоляции в зависимости от времени сушки и теплофизических параметров:

$$\xi = \sqrt{\frac{t_{ct} - t_0}{\ln r_0 - \ln R} \cdot \frac{2\lambda\tau}{\rho W \sigma}}, \quad (7)$$

Величина теплового потока, Вт/м, подводимая теплопроводностью от трубопровода к границе испарения влаги определяется из уравнения:

$$q = -\lambda \frac{\pi r_0 (t_{cm} - t_0)}{\ln R - \ln r_0} \cdot \frac{1}{\xi}, \quad (8)$$

На рис. 2, а представлена расчетная зависимость изменения глубины просохшего слоя от времени для материала, рассмотренного в [2] (минеральная вата толщиной слоя  $\delta = 28,7$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,05$  Вт/(м·К), плотностью  $\rho = 11$  кг/м<sup>3</sup>).

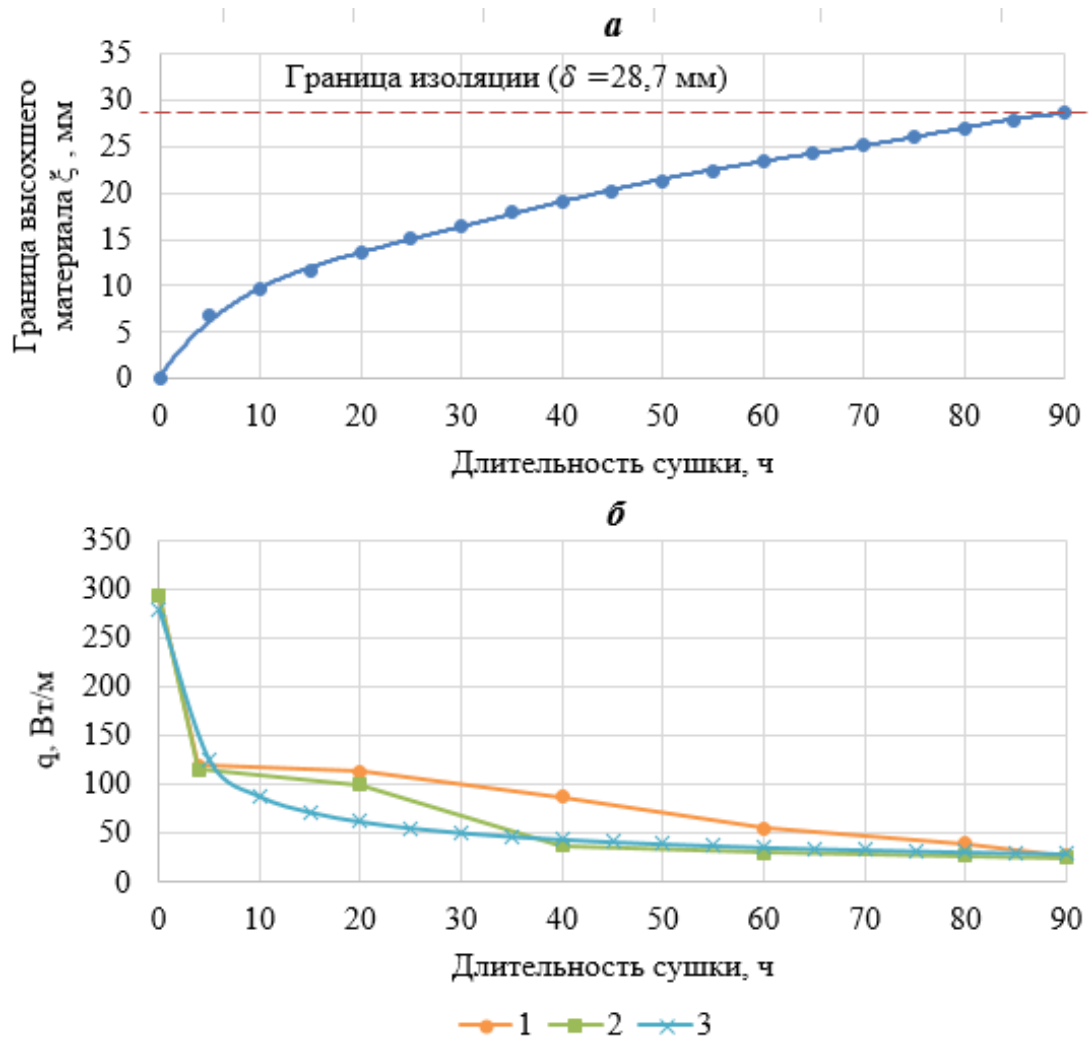


Рис. 2. *а* – изменение границы высохшего материала в зависимости от времени (7); *б* – изменение линейного теплового потока, проходящего через изоляционный слой; 1 – экспериментальные данные [1] при относительной влажности в канале  $\varphi = 100\%$ ; 2 – экспериментальные данные [1] при относительной влажности в канале  $\varphi = 40\%$ ; 3 – расчетные данные по (8)

Анализируя график изменения линейного теплового потока в зависимости от времени (рис. 2, б), следует заметить, что расчетные и экспериментально полученные данные хорошо сопоставимы.

Полученные результаты позволят оптимизировать затраты на сушку слоя теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей.

#### Список использованных источников

1. Цукасова А. В., Гредякин Д. Ю., Щербинин К. А. Экспериментальное исследование величины фактических тепловых потерь при затоплении теплопроводов канальной прокладки // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (15–18 декабря 2015 года). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 273–276.

2. Щербинин К. А. Пути повышения энергетической эффективности программ модернизации тепловых сетей на примере Свердловской области // Энергетика Татарстана. 2015. № 3. С. 32–36.

УДК 621.438

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ПО МОЩНОСТИ

## GAS TURBINE TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT ON POWER

Якименко И. С., Блинов В. Л., Комаров О. В.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Ivan.Iakimenko@at.urfu.ru

Yakimenko I. S., Blinov V. L., Komarov O. V.  
Ural federal university, Ekaterinburg

**Аннотация:** В статье проводится сравнительный анализ точности и сложности применения различных методов по оценке технического состояния газотурбинных установок на основании данных натурных испытаний газоперекачивающих агрегатов на объектах эксплуатации.

**Abstract:** The article conducts a comparative analysis of the accuracy and complexity of different methods for the assessment of technical condition of gas turbine plants on the basis of field tests of gas pumping units at the sites of exploitation.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки; газоперекачивающие агрегаты; техническое состояние; эффективная мощность.

**Key words:** gas turbine plants; gas pumping units; technical condition; effective power.

В соответствии со стратегией развития газовой отрасли России одной из задач является снижение издержек на транспорт газа. Так, до 8 % газа, перекачиваемого по отечественным магистральным газопроводам (МГ), используется в качестве топливного газа для работы приводных газотурбинных установок (ГТУ) [1]. Выполнение этой задачи невозможно без реализации системы мер, направленных на обеспечение максимально энергоэффективной и надежной работы основного оборудования компрессорных станций – газоперекачивающих агрегатов. Такая система мер, в том числе, предусматривает мониторинг технического состояния (ТС) ГТУ.